

# Das Gewächshaus als Grundlage für umweltschonende Pflanzenproduktion

Zabeltitz, Christian von

Veröffentlicht in:  
Jahrbuch 1995 der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.31-37



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

CHRISTIAN VON ZABELTITZ, Hannover

## **Das Gewächshaus als Grundlage für umweltschonende Pflanzenproduktion**

Hannover, 12.5.1995\*

### **Einleitung**

Gewächshäuser sind begehbare Bauten mit einer lichtdurchlässigen Außenhülle, die die erforderlichen Wachstumsbedingungen für eine ganzjährige Pflanzenproduktion schaffen sollen. Die Wachstumsfaktoren Licht, Temperatur, Luftfeuchte, Luftzusammensetzung und Wasser müssen optimal so zur Verfügung gestellt werden, daß unter weitestgehender Schonung der Umwelt möglichst geringer Aufwand für Investition und Unterhaltung entsteht (1). Ziele der technischen Entwicklung müssen sein:

- die ökonomische Optimierung
- die Rationalisierung
- die ökologische Optimierung.

Der Gartenbau hat eine erhebliche Bedeutung im Agrarbereich Deutschlands, insbesondere durch die intensive Produktion von Zierpflanzen, Gemüse, Obst und Baumschulpflanzen. Auf etwa 1% der landwirtschaftlich genutzten Fläche werden etwa 41% der Erlöse aus pflanzlicher Produktion erzielt. Jeder Bundesbürger kauft jährlich für durchschnittlich 120,- DM Zierpflanzen und ißt jährlich 80 bis 90 kg Gemüse. Die meisten Zierpflanzen werden im Sommer und Winter in Gewächshäusern produziert, ebenso wichtige Gemüsearten wie Tomaten, Gurken und Paprika. In Deutschland gibt es heute etwa 4.300 ha Gewächshausfläche, in den Niederlanden 9.800 ha, in Italien und Spanien jeweils ca. 23.000 ha.

### **Techniken zur Pflanzenproduktion in Gewächshäusern**

Abb. 1 zeigt die in Betracht zu ziehenden Techniken eines Gewächshaussystems am Beispiel des Gesamtenergiekonzeptes, zu dem die Bereitstellung der Heizenergie und die den Heizenergieverbrauch im Gewächshaus beeinflussenden technischen Systemkomponenten gehören.

Folgende Fragestellungen sind durch Forschung, Entwicklung und Planung zu beantworten:

---

\* Kurzfassung eines Vortrags vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

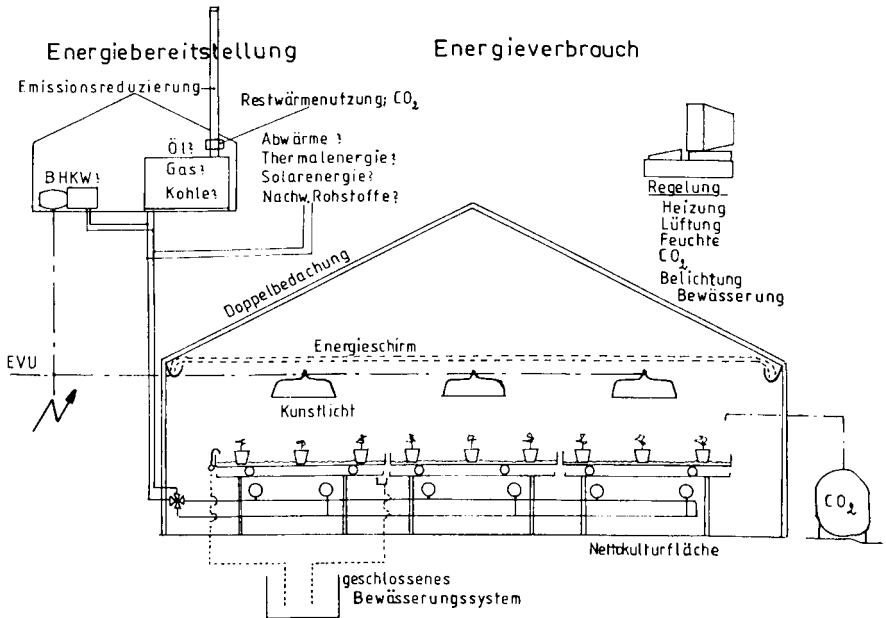


Abb. 1: Gesamtenergiekonzept und technische Einrichtungen einer Gewächshausanlage

1. Energiesparende Maßnahmen an der Gewächshauskonstruktion mit Reduzierung der Wärmebrücken, mit Doppelbedachung, die aber den Lichteinfall vermindert und mit Energieschirmen, die nur in der Nacht zur Wärmedämmung geschlossen werden (2; 3; 4; 5).
2. Tischflächen mit hoher Nettokulturfläche durch Einsatz von Rolltischen oder Palettensystemen (5).
3. Geschlossene Bewässerungsverfahren mit Düngung ohne Eintrag von Düngerlösung in den Boden und mit reduzierter Wasserverdunstung.
4. CO<sub>2</sub>-Düngung mit technischem CO<sub>2</sub> oder Abgasen aus der Gasheizung (6).
5. Künstliche Belichtung mit Bereitstellung der elektrischen Energie vom EVU oder durch Eigenstromerzeugung mit Blockheizkraftwerk (BHKW). Optimierte Einsatzstrategien (6; 7).
6. Optimierte Anordnung und Auslegung von Heizungssystemen im Gewächshaus für gleichmäßige Temperaturverteilung und Minimierung des Energieverbrauchs (8; 9).
7. Auswahl der Heizenergiequellen und Berechnung für den Heizenergieverbrauch (10; 11). Regenerative Energiequellen, Abwärme aus Industrieprozessen, Thermalenergie, Solarenergie, nachwachsende Rohstoffe (5; 12; 13; 14; 15; 16).
8. Regelung der Klimafaktoren und spezielle Regelstrategien zur Optimierung des Ertrages, zur Minimierung der Heizenergie und zur Reduzierung des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel (18; 19; 20).

Die Grundfunktion von Gewächshäusern besteht darin, für die Pflanzen ganzjährig optimale Wachstumsbedingungen zu schaffen. Wachstumsfaktoren, die durch Klimatisierungsmaßnahmen beeinflusst werden, sind die Einstrahlung bzw. die Globalstrahlung mit den Anteilen der ultravioletten, der sichtbaren und der unsichtbaren Infrarotstrahlung, die Luft-, Pflanzen- und Bodentemperatur, die Luftfeuchte und die Luftzusammensetzung ( $\text{CO}_2$ -Konzentration). Dazu kommen heute Klimatisierungsmaßnahmen aus ökologischen Gründen.

Für die Gewächshausklimatisierung bedeutet dies:

- Ein Maximum an Lichteinfall bei einem Minimum an Energieverbrauch
- Vermeidung von Emissionen in Wasser, Boden, Luft und Pflanzen
- Verringerung des Einsatzes chemischer Mittel durch Klimaregelstrategien.

### „Gewächshauseffekt“

Bei Sonneneinstrahlung erhöht sich die Temperatur im Gewächshaus erheblich, wenn die Überschusswärmeenergie nicht durch Lüftung oder Kühlung abgeführt wird. Häufig wird dieser Effekt der Temperaturerhöhung allein der nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz auftretenden Strahlenfalle im Glasgewächshaus zugeschrieben, wobei Glas undurchlässig für die langwellige Rückstrahlung ist. Dies ist nicht der Fall, sondern für die Temperaturerhöhung im Gewächshaus ist maßgeblich die behinderte Konvektion verantwortlich, wie aus Abb. 2 zu ersehen ist, in der die Verhältnisse in einem Glas- und einem Foliengewächshaus sowie vergleichsweise im Freiland dargestellt sind. In beide

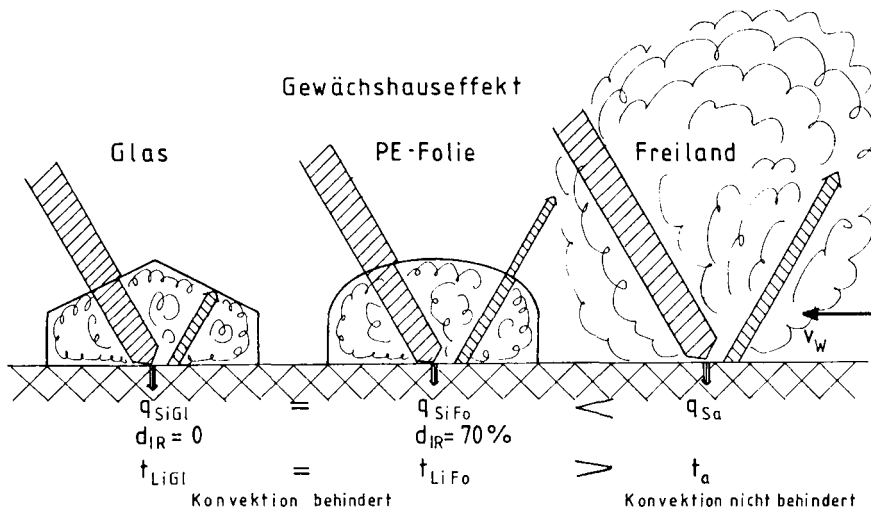


Abb. 2: Die Temperaturerhöhung im Gewächshaus

Häuser kommt etwa der gleiche Anteil an Globalstrahlung  $q_{si}$ , der aber kleiner ist als die Einstrahlung im Freiland  $q_{sa}$ . Die Durchlässigkeit von Glas für langwellige Wärmestrahlung  $d_{IR}$  ist 0, die Durchlässigkeit von trockener PE-Folie aber ca. 60 bis 70%.

Wenn die sogenannte Strahlenfalle allein ausschlaggebend für die Erwärmung im Gewächshaus wäre, müßte die Temperatur im Glasgewächshaus am Tag wesentlich höher ansteigen als im PE-Foliengewächshaus. Dies ist unter Praxisbedingungen nicht nachweisbar. Die Temperaturen unter Glas und Folie nehmen bei Sonneneinstrahlung gleichermaßen stark erhöhte Werte ein, d.h. es ist  $t_{Li(Gl)} = t_{Li(Fo)}$ .

Durch die Absorption der Globalstrahlung an Pflanzen, Einrichtungen und Erdboden werden diese erwärmt. Ein Teil der Wärme wird langwellig abgestrahlt, ein anderer Teil wird durch vorbeiströmende Luft (Konvektion) abgeführt. Diese konvektiv abgeführte Wärme kann sich im Freiland über weite Räume verteilen. Im Gewächshaus mit geschlossener Lüftung dagegen ist die Ausbreitung behindert. Der Luftraum ist beschränkt und die Luft in diesem relativ kleinen Raum erwärmt sich stärker. Dies ist die wesentliche Ursache für die Temperaturerhöhung im Gewächshaus, den sogenannten Gewächshauseffekt. Die Strahlenfalle spielt nur eine untergeordnete Rolle. Deshalb ist der „Gewächshauseffekt“ im Gewächshaus kaum vergleichbar mit dem Treibhauseffekt in der Atmosphäre.

## Klimatisierungsmaßnahmen und Klimaregelung

Seit 1970 sind durch technische und kulturtechnische Maßnahmen Energieeinsparungen bei der Pflanzenproduktion in Gewächshäusern bis zu einer Höhe von 50% möglich geworden (Bezug 1970). Im ITG-Hannover ist ein Expertensystem HORTEx entwickelt worden, mit dem Energieerzeugungsanlagen und Heizungssysteme für Gewächshäuser ausgelegt und Energieverbrauchswerte berechnet werden können (10). Dieses Programm ist in der Praxis eingeführt.

Zur Zeit wird ein Optimierungsmodell für den optimalen Energieeinsatz im Gewächshaus entwickelt. Die Zielsetzung und der Umfang des Optimierungsprogramms sind in Abb. 3 schematisch dargestellt. Im Gewächshaus besteht Wärmebedarf für die Heizung, Strombedarf für die Pflanzenbelichtung und  $CO_2$ -Bedarf für die Assimilation. In den Versorgungseinrichtungen muß elektrische und thermische Energie sowie gegebenenfalls  $CO_2$  aus der Verbrennung von Gas zur Verfügung gestellt werden (s. Abb. 1). Mit bestimmten Klimaregelstrategien, die ebenfalls Bestandteil der Optimierung sind, wird das Klima im Gewächshaus geregelt. Die Zielsetzung des Optimierungsprogrammes ist die Auslegung von integrierten Energieversorgungsanlagen, die Optimierung der Einsatzplanung der Versorgungsanlagen, die Ableitung von optimierten Klimastrategien und die Auswahl der Klimaregelstrategien. Es ist wichtig, die Komponenten der Versorgungseinrichtungen so auszuwählen und aufeinander abzustimmen, daß ein ökonomischer und ökologischer Betrieb gewährleistet wird.

Das Gewächshausklima bietet prinzipiell gute Bedingungen für die Ausbreitung pilzlicher Schaderreger durch die hohen Temperaturen, die höhere Luftfeuchte, die mögli-

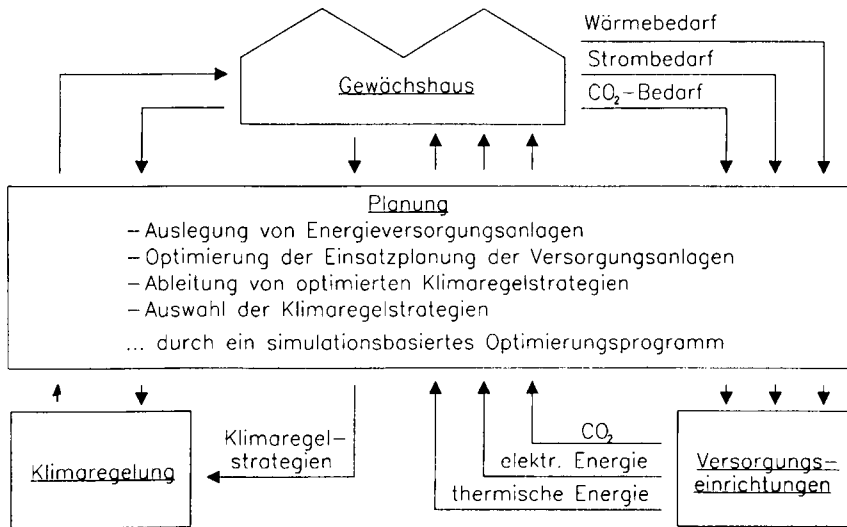


Abb. 3: Optimierungsprogramm für den Energieeinsatz und die Klimatisierung in Gewächshäusern

che Wasserkondensation auf den Pflanzen bei Taupunktunterschreitung und die relative Windstille. Es werden nun verstärkt Untersuchungen angestellt, um den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln durch geeignete Maßnahmen der Klimatisierung zu reduzieren. Dazu gehören die Anwendung bestimmter Strahlungsdurchlässigkeiten des Bedachungsmaterials (22) und spezielle Klimaregelstrategien (21).

Um das Streckungswachstum bei bestimmten Topfpflanzen zu reduzieren (kompakte Pflanzen), werden chemische Streckungsmittel eingesetzt. Das Streckenwachstum kann aber auch gehemmt werden, wenn Wellenlängen über 690 nm herausgefiltert werden. Eine Mischung von hellrotem und rotem Licht hat andererseits Einfluß auf die Blütenbildung.

Ultraviolette Strahlung im Bereich von 300 bis 350 nm begünstigt die Sporulation von pilzlichen Schaderregern. Die Entstehung von Pflanzenkrankheiten kann in Verbindung mit anderen Klimatisierungsmaßnahmen eventuell verringert werden, wenn diese Wellenlängen herausgefiltert werden. Dies wird untersucht (22). Die spektrale Durchlässigkeit von Kunststoffen als Gewächshausbedachungsmaterial läßt sich durch Additive beeinflussen.

Nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz liegt die maximale Wellenlänge der Rückstrahlung von langwelliger Wärmestrahlung aus dem Gewächshaus bei ca. 9.000 nm. Wenn das Bedachungsmaterial diese langwellige Wärmestrahlung durchläßt, was bei einigen Folien der Fall ist, kann es zur sogenannten Inversion kommen. Die Pflanzen stehen im direkten Strahlungsaustausch mit der kalten Atmosphäre und nicht mit dem wärmeren Dach. Die Pflanzentemperatur sinkt stärker ab und nimmt Werte unter der Um-

gebungslufttemperatur an. Dadurch sinkt auch die Lufttemperatur und kann in ungeheizten Gewächshäusern unter Außentemperatur absinken. Es können im Gewächshaus Frostschäden auftreten, was in ariden und subtropischen Gebieten auch passiert. Sinkt die Pflanzentemperatur, so leidet die Vitalität der Pflanzen. Wenn die Taupunkttemperatur unterschritten wird, tritt Kondensation an den Pflanzen auf, die den Krankheitsbefall begünstigt. Bedachungsmaterialien sollten daher undurchlässig für langwellige IR-Strahlung im Bereich von 4.000 bis 16.000 nm sein.

Mit Hilfe von Klimacomputern ist es heute möglich, alle Klimafaktoren nach verschiedenen Klimaregelstrategien zu regeln. Die Temperatur in Abhängigkeit von der Tageszeit und vom Lichtangebot ist einer der wichtigsten Einflußparameter auf Pflanzenreaktionen. Dabei haben die Tag- und Nachttemperaturwerte unterschiedliche physiologische Wirkungen. Beispielsweise wird das Streckungswachstum durch Absinken der Tagtemperatur verringert. Der Einsatz von chemischen Hemmstoffen kann verringert werden. Andere Pflanzenreaktionen sind im wesentlichen von der Tagesmitteltemperatur abhängig, wobei Tag- und Nachttemperatur in bestimmten Bereichen differieren können. Besonderen Einfluß auf das Streckungswachstum hat man durch starke Absenkung der Temperatur am frühen Morgen erreicht. Entsprechend muß bei vorgegebener Tagesmitteltemperatur die Nachttemperatur angehoben werden.

Es werden unterschiedliche Klimaregelstrategien für verschiedene Produktionsziele entwickelt und eingesetzt, beispielsweise um pflanzenbauliche Reaktionen zu erzielen, um Energieeinsparungen zu erreichen und um die Anfälligkeit der Pflanzen gegen Pflanzenkrankheiten zu mindern. So ist es gelungen, allein durch bestimmte Klimaführung im Pflanzenbestand die Infektion von Topfpflanzen mit *Botrytis* erheblich zu senken (21).

## Literatur

- [1] von Zabeltitz, Chr.: Gewächshäuser. Ulmer-Verlag Stuttgart, 2. Auflage 1986.
- [2] Tantau, H.J.: Der Einfluß von Einfach- und Doppelbedachungen auf das Klima und den Wärmehaushalt von Gewächshäusern. Gartenbautechnische Information, Heft 4 (1985), ITG Hannover.
- [3] Meyer, J.: Bewertung von beweglichen Energieschirmen im Hinblick auf den Energieverbrauch. Gartenbautechnische Information, Heft 11 (1982), ITG Hannover.
- [4] Müller, G.: Energieschirme unter Praxisbedingungen – Bewertung und Optimierung im Hinblick auf Energieverbrauch und Klimaführung. Gartenbautechnische Information, Heft 28 (1987), ITG Hannover.
- [5] von Zabeltitz, Chr. (Hrsg.): Energieeinsparung und alternative Energiequellen im Gartenbau. Ulmer-Verlag, Stuttgart 1982.
- [6] Husmann, H.J.: Optimierung des Energieeinsatzes im Gartenbau. Entwicklung des Optimierungsmodells HORTOS. Laufendes Forschungsvorhaben am ITG Hannover.
- [7] Meyer, J.: Analyse von Kunstlichtsystemen mit einem modularen Simulationsprogramm zur Datengewinnung. Gartenbautechnische Information, Heft 33 (1989), ITG Hannover.
- [8] Tantau, H.J.: Heizungsanlagen im Gartenbau. Ulmer-Verlag, Stuttgart 1983.
- [9] Tantau, H.J.: Heizungssysteme im Gewächshaus. Gartenbautechnische Information, Heft 1 (1982), ITG Hannover.
- [10] Rath, Th.: Einsatz wissensbasierter Systeme zur Modellierung und Darstellung von gartenbautechnischem Fachwissen am Beispiel des hybriden Expertensystems HORTEX, Gartenbautechnische Information, Heft 34 (1992), ITG Hannover.

- [11] *Rath, Th.*: Einfluß der Wärmespeicherung auf die Berechnung des Heizenergiebedarfes von Gewächshäusern mit Hilfe des k'Modelles. Gartenbauwissenschaft 59 (1994) Nr. 1, S. 39–44.
- [12] *von Elsner, B. und H. Bredenbeck*: Nutzung von Abwärme zur Beheizung von Gewächshäusern. Gartenbautechnische Information, Heft 23 (1985), ITG Hannover.
- [13] *Schockert, K.*: Erprobung und Bewertung von Niedertemperatur-Heizsystemen zur Gewächshausbeheizung. Gartenbautechnische Information, Heft 21 (1984), ITG Hannover.
- [14] *von Zabeltitz, Chr.* (Editor): Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating, REUR Technical Series 3. FAO Rome 1988.
- [15] *Damrath, J.*: Solarenergienutzung im Gewächshaus. Gartenbautechnische Information Teil I, Heft 14 (1982). Teil II: Heft 15 (1983), ITG Hannover.
- [16] *Bredenbeck, H.*: Untersuchung angepaßter Systeme für die solare Gewächshausbeheizung. Gartenbautechnische Information, Heft 36 (1992), ITG Hannover.
- [17] *Thomas, J.*: Untersuchungen zur Optimierung und Eignung wassergefüllter Folienschläuche als passives Kollektor- und Speicherelement im Gewächshaus. Gartenbautechnische Information, Heft 38 (1994), ITG Hannover.
- [18] *Tantau, H.J.*: Analyse des Regelverhaltens klimatisierter Gewächshäuser als Grundlage zur Auswahl und Entwicklung geeigneter Regler. Gartenbautechnische Information, Heft 7 (1979), ITG Hannover.
- [19] *von Elsner, B.*: Das Kleinklima und der Wärmeverbrauch von geschlossenen Gewächshäusern. – Ein Simulationsmodell zur gartenbautechnischen Bewertung unter Berücksichtigung des Einflusses von Standortklima, Pflanzenbestand und Gewächshauskonstruktion. Gartenbautechnische Information, Heft 12 (1982), ITG Hannover.
- [20] *Rüther, M.*: Energieeinsparung durch Wärmerückgewinnung beim Zwangsluftwechsel in abgedichteten Gewächshäusern. Gartenbautechnische Information, Heft 31 (1989), ITG Hannover.
- [21] *Lange, D.*: Entwicklung und Erprobung einer Klimaführungsstrategie für Gewächskulturen zur integrierten Bekämpfung des Grauschimmels. Laufendes Forschungsvorhaben am ITG Hannover.
- [22] *Hoffmann, S.*: Der Einfluß verschiedener Spektren der Globalstrahlung und der IR-Strahlung auf Qualität und Gesundheit von Zierpflanzen. Neues Forschungsvorhaben am ITG Hannover.